

文章编号:1000-4734(2005)04-0325-09

## 地史早期岩石中的铅锌演化

——狼山—渣尔泰山中元古代铅锌成矿的物质基础

朱笑青<sup>1</sup>, 张乾<sup>1</sup>, 何玉良<sup>1,2</sup>, 祝朝辉<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:**以中国内蒙古狼山—渣尔泰山中元古代 SEDEX 型铅-锌成矿带为例,研究了该区从太古代到中元古代地壳岩石的铅锌含量和变化关系以及与成矿的关系。研究发现,从早到晚,岩石  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量升高,铅含量也与二者同步增加; $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  及  $\text{Na}_2\text{O}$  含量呈下降趋势,锌含量也同步降低。在太古代时,岩石的  $\text{Zn}/\text{Pb}$  比值一般  $>8$ ,中元古代时这一比值降低为  $2\sim4$ 。矿石的  $\text{Zn}/\text{Pb}$  比值与基底岩石  $\text{Zn}/\text{Pb}$  比值具有很好的一致性。铅锌这种随时间的变化与中元古代铅的爆发性成矿及大规模铅锌共生矿床的形成是同步的,说明基底岩石中的铅和锌是该成矿带 SEDEX 矿床成矿的物质基础。

**关键词:**地史早期;铅锌演化;铅锌成矿;中元古代;狼山—渣尔泰山

**中图分类号:**P612;P618.4 **文献标识码:**A

**作者简介:**朱笑青,女,1955 年生,研究员,矿床地球化学及成矿实验专业, E-mail: zhuxqcas@sohu.com.

地质历史中铅锌矿床的形成具有明显的时控特点<sup>[1,2]</sup>。在地球早期的 20 多亿年中(1.8~4.5 Ga),以铅为主要有用元素的矿床很少,并且以小型矿床为主。这一时期的锌常以铜-锌组合的矿床出现,如加拿大的 Kidd Creek Cu-Zn 矿床和中国的红透山 Cu-Zn 矿床等,其成因主要与海底火山作用有关。

从中元古代(约 1.8 Ga)开始,铅-锌矿床大量出现,并且形成了许多大型超大型矿床,最为知名的当属澳大利亚的 Broken Hill, McArthur River, Mount Isa, Hilton, Dugald River 和 Lady Loretta 矿床<sup>[3-10]</sup>,加拿大的 Sullivan 矿床<sup>[11-12]</sup>以及中国狼山—渣尔泰山成矿带的东升庙、炭窑口、甲生盘和霍各乞矿床等。这些巨型铅锌矿床主要为海底喷气同生沉积成因,即 SEDEX 型矿床,形成时代集中在 1.4~1.8 Ga 之间<sup>[13]</sup>。许多学者都注意到了这一现象,赵振华等<sup>[14]</sup>将这一特点称为中元古代铅的爆发性成矿事件。但到目前为止,对于造成这一事件的原因还没有非常肯定的结论。我们相

信,造成这一现象的原因是多方面的,但是一个矿床的形成,物质基础是关键因素。中元古代全球范围铅锌大规模成矿作用的发生,与地球早期铅和锌的演化有着密切关系。本文就以我国狼山—渣尔泰山地区太古代—中元古代岩石中铅-锌的变化特点为例来讨论这一问题。

## 1 地质背景

## 1.1 矿床地质

正像澳大利亚昆士兰州中元古代地层中产出有世界著名的 Broken Hill, Mount Isa, McArthur River 等许多 SEDEX 型铅锌矿床一样,在内蒙古狼山—渣尔泰山地区的中元古代地层中,产出有东升庙、炭窑口、霍各乞、甲生盘、对门山、太阳庙等 SEDEX 型铅锌矿床(图 1)。它们产出的地层时代约为 1.1~1.6 Ga<sup>[15]</sup>,是在太古代及早元古代变质岩为基底的裂谷环境下沉积的产物,称为狼山群或渣尔泰山群,其中渣尔泰山群从下至上依次为:①书记沟组:为含砾变质石英(杂)砂岩、变质砾岩、石英岩、板岩、绢云石英片岩、变质长石砂岩,总厚 1928 m,存在双峰式火山作用<sup>[16-17]</sup>;②增隆昌组:为粉砂质板岩、泥岩、长石石英砂岩、白云质灰岩、灰岩,厚 190 m;③

收稿日期:2005-03-03

基金项目:中国科学院重要方向项目(No. KZCX3-SW-125);国家自然科学基金预选题目(No. 95-预-25);国家自然科学基金面上项目(No. 40172037)

阿古鲁沟组:总厚度大于 3000 m,分三个岩性段,第一岩性段为千枚状含碳质板岩、变质粉-细砂岩,厚 346 m;第二岩性段为含碳质泥晶灰岩(白云质灰岩、白云岩)夹粉砂岩,厚 1124 m;第

三岩性段为含碳质粉砂质板岩、含黄铁矿碳质板岩、夹变质长石石英砂岩,厚 2175 m;④刘鸿湾组:为变质(含砾)长石石英砂岩、绢云石英片岩、泥晶灰岩、白云岩等,厚 161 m。

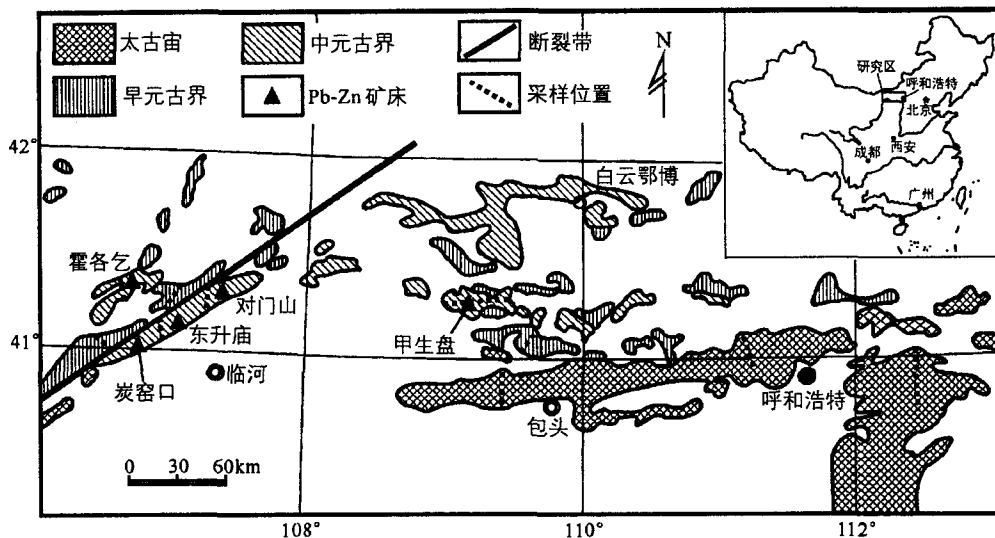


图1 狼山—渣尔泰山地区太古宙—中元古界及 SEDEX 铅锌矿床分布图

Fig.1. Distribution map of the SEDEX-type Pb-Zn deposits and rocks from Archean to Middle Proterozoic in the Langshan-Zhaertaishan district.

该地区所有的 SEDEX 型矿床都产于阿古鲁沟组第二和第三岩段或相当层位中,岩石以碳酸盐岩-细碎屑岩为主,含碳 2%~6%。矿体以层状、透镜状为主,与地层同步褶皱。主要金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,少量黄铜矿,非金属矿物主要为白云石、方解石、石英等。矿床有用组分为 S、Pb、Zn、Cu。矿石构造主要为层纹状、条带状、块状。

从 20 世纪 80 年代开始,许多学者对该成矿带进行了研究,归纳起来,得到了以下一些重要认识:①成矿的构造环境为发展于古陆边缘太古代—早元古代基底之上的裂谷环境<sup>[18]</sup>;②矿床成因为海底喷气沉积成因(SEDEX 硫化物矿床)<sup>[19-20]</sup>;③成矿元素来自基底变质岩<sup>[21-23]</sup>。也就是说,该成矿带铅锌矿床的成矿物质来自太古代—早元古代岩石,大规模的成矿发生在中元古代阿古鲁沟组沉积阶段。

### 1.2 太古代—早元古代岩石的基本特征

由图 1 可见,由于剥蚀和覆盖,狼山—渣尔泰山地区的太古代、早元古代和中元古代岩石的分

布是不连续的。

太古代岩石主要分布于包头至呼和浩特及其以东地区,在狼山地区也有零星分布,其时代从 3.1 Ga 到 2.5 Ga 左右<sup>[18]</sup>。层位关系从下往上为下集宁群—上集宁群—乌拉山群,可见狼山—渣尔泰山地区主要为上部的乌拉山群,基性火山岩中锆石 U-Pb 年龄为 2.47~2.52 Ga<sup>[24]</sup>,此年龄可作为区内太古代的时代上限。下集宁群厚度 > 2300 m,以麻粒岩为主,夹辉石斜长片麻岩、斜长角闪岩和磁铁石英岩,其原岩为基性、中-酸性火山岩、火山碎屑岩和硅铁质岩。上集宁群厚度 > 3000 m,以石英岩、各类片麻岩、变粒岩为主,局部夹有大理岩和麻粒岩,上、下集宁群主要分布于呼和浩特以东地区。狼山—渣尔泰山地区的太古代主要出露乌拉山群,厚度 > 4000 m,岩性以片麻岩、角闪岩、变粒岩、石英岩为主夹大理岩,下部原岩以基性火山岩为主,上部以沉积泥砂质岩、碳酸盐岩为主。

根据内蒙古地质矿产局(1991)<sup>[24]</sup>的资料,下元古界地层称为色尔腾山群,零星分布于包头—呼和浩特以北及研究区西北部(北纬 41°

~42°之间),最大厚度为 6038 m,顶底不全。主要为一套经受中级变质的绿岩建造,局部为混合岩化片麻岩和混合岩。下部主要岩石组合为混合岩化片麻岩、混合岩、片岩,变质程度较高,原岩为镁铁质拉斑玄武岩为主;中部以绿片岩为主,局部有混合岩化现象,原岩为钙碱性火山岩和碎屑岩;上部角闪斜长片岩和次角闪岩为主,夹有变粒岩和磁铁石英岩,原岩为沉积岩夹安山岩。下元古界地层目前还没有取得可靠的同位素年代资料,划分的依据主要依靠层位关系及岩性,因此对其时代归属还存在一些争议。但是该套地层作为中元古界的基底是可以肯定的,这也不影响我们讨论中元古代铅锌的成矿问题。

### 1.3 中元古代 SEDEX 型铅锌矿床与基底的关系

自 SEDEX 型矿床类型确立以来,经过 30 多年的研究,目前认为该类矿床是成矿流体直接喷出海底,在还原性海底沉淀形成层状硫化物矿床。成矿的金属元素主要有两个来源,其一为各种流体从下伏的基底岩石中获取金属元素,其二为火山活动带来的金属元素,或两者兼而有之。从关注这一问题的学者的观点来看,多数学者认为前者的可能性更大或以此为主。也就是说,基底提供成矿物质是该类矿床最主要的物源。

已有学者根据狼山—渣尔泰山成矿带 SEDEX 矿床的地质和地球化学特征,认为成矿金属元素是由基底岩石提供的<sup>[21-23, 25]</sup>。虽然也有人根据成矿带内中元古界地层中存在“双峰式”火山作用,推测成矿与火山作用有一定关系,但也不能否认基底提供成矿物质<sup>[16-17]</sup>。

一个显著特点是,狼山—渣尔泰山成矿带虽然存在巨厚的变质基底,但其中不存在铅锌矿床,所有的 SEDEX 型矿床都形成于中元古代,并且成矿物质主要来自基底。这种突发性、暴发性成矿作用的发生应该和基底岩石中铅锌的演化有一定关系。

## 2 样品与分析方法

采样路线见图 1 所示,岩石样品分别在 1982 年、1983 年和 1998 年三次采集得到。主要选择了研究区太古宙、早元古界和中元古界各种有代表性的岩石样品共 107 件,分析项目

包括主要氧化物成分和铅、锌含量。主要元素氧化物用常规化学方法分析。铅锌含量用 ICP-MS 于 1999 年分析,误差为 10%,其中 10% 的样品用原子吸收光谱进行了复测(分析误差为 10%),结果显示,同一样品两种方法所获得的结果相差也都在误差范围以内,说明结果是可靠的。由于样品较多和篇幅有限,将各时代的样品按岩性(依据显微镜鉴定结果)分类后,表 1 每种岩性仅给出平均值。需要说明的是,能够作为变质基性火山岩者,岩石特征及化学成分都是可以肯定的,斜长角闪岩的原岩有些可能是基性火山岩,有些可能属于中性岩,不易区分。因此,表 1 中将变质基性火山岩与斜长角闪岩分开列出。

## 3 地球早期岩石成分的变化特点

狼山—渣尔泰山地区从基底的太古宙、早元古界演化到中元古界,岩石类型发生了巨大变化,太古代的麻粒岩等一些高级变质岩在早元古界和中元古界是没有的,而中元古界富钾的变质岩和富钾花岗岩尤其是碱性岩,在早元古代及其以前很少出现。表现在化学成分上,太古代岩石  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ,早元古代岩石  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$  两种情况都有但以前者为主,而到了中元古代,  $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$  的岩石更加普遍,这一现象随着钾质富碱岩浆岩(或碱性岩浆岩)在中元古代的大规模形成而变得更为明显。

另一明显的变化是从太古代到中元古代,岩石  $\text{SiO}_2$  含量升高,即使同一类岩石也存在这种变化关系。因此形成了从早到晚,  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量同步升高的变化特点(图 2)。相应地,岩石的  $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  含量呈现从早到晚略微降低的趋势。反映在岩石的矿物组成上,  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量的升高,是从早到晚岩石中钾长石的出现和云母类矿物增多的结果。钾长石和云母类矿物的增多必然导致含  $\text{Fe}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Ca}$  矿物的减少。也就是说,随着时间的推移,地壳岩石在向着富  $\text{SiO}_2$  和富  $\text{K}_2\text{O}$  及贫  $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  的方向演化。随着岩石成分的这种变化,铅锌含量也发生了一定程度的变化。从表 1 可见,  $\text{Na}_2\text{O}$  含量最高的是早元古界岩石而非太古宙岩石,因而在图 2 中  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Na}_2\text{O}$  看不出明显的关系。

表1 早前寒武系岩石化学成分及铅锌含量

Table 1. Chemical composition (%) and Pb, Zn contents ( $10^{-6}$ ) of the Early Precambrian rocks

时代 岩性	样品数	$w_B/\%$														$w_B/10^{-6}$			
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	CO <sub>2</sub>	合计	Pb	Zn	Pb/Zn	
太古代	麻粒岩	3	62.76	0.82	17.91	1.98	2.63	0.06	1.65	4.08	4.30	1.87	0.22	1.46	0.04	99.78	12	102	0.12
	闪长岩	4	56.6	10.76	13.42	2.14	3.67	0.10	8.25	4.86	3.19	2.54	0.23	3.01	0.92	99.70	17	116	0.15
	变质基性火山岩	18	48.54	1.34	12.97	4.43	9.06	0.21	6.49	10.02	2.55	0.89	0.23	1.75	1.62	99.97	6	137	0.04
	斜长角闪岩	12	50.48	1.15	13.71	3.81	9.68	0.23	7.01	10.48	2.47	0.91	0.25	1.62	0.11	100.07	8	118	0.07
	片麻岩	5	59.51	1.08	13.57	2.55	4.60	0.06	2.84	4.89	3.51	2.66	1.80	1.78	0.96	99.81	13	89	0.15
	混合岩	3	58.40	1.28	16.00	4.85	2.97	0.08	2.58	2.59	4.08	2.98	0.88	2.51	0.49	99.69	16	114	0.14
	片岩	5	56.64	0.78	13.61	3.85	6.13	0.20	5.10	7.16	3.35	1.03	0.07	1.76	0.13	99.81	14	91	0.15
早元古代	变质基性岩	5	46.85	1.29	15.53	4.99	6.49	0.20	7.75	9.54	3.26	0.96	0.40	1.99	0.77	99.80	9	116	0.08
	花岗闪长岩	2	62.54	0.67	13.85	3.41	4.62	0.09	2.49	4.31	1.97	2.06	0.08	1.54		97.63	13	63	0.21
	花岗岩	2	68.89	0.22	14.84	0.95	1.33	0.04	0.66	2.92	4.31	3.43	0.07	1.00	1.06	99.72	25	122	0.20
	混合岩	2	56.28	0.94	14.06	2.99	8.28	0.11	3.49	6.16	4.82	1.34	0.22	1.07		99.76	15	79	0.19
	斜长角闪岩	4	53.43	0.86	12.84	3.95	6.81	0.26	8.29	6.51	4.57	1.12	0.11	0.96		99.71	12	107	0.11
	片麻岩	3	53.22	1.02	13.25	3.48	9.25	0.18	6.48	5.11	3.16	0.97	0.18	1.21		97.51	18	81	0.22
	角闪片岩	2	53.62	0.99	11.99	3.82	7.55	0.09	5.98	8.61	5.09	0.86	0.42	0.94		99.96	20	80	0.25
中元古代	基性火山岩	6	51.98	1.66	12.26	3.07	3.95	0.31	7.95	9.76	3.99	3.49	0.12	1.35		99.91	15	92	0.16
	变质中-酸性火山岩	4	68.46	0.61	11.71	1.59	1.76	0.20	3.54	4.44	2.19	3.72	0.12	1.68		99.99	34	60	0.57
	钾长花岗岩	10	73.90	0.10	12.25	2.70	0.35	0.07	0.21	0.33	2.88	6.26	0.02	0.92		99.99	42	58	0.72
	斜长角闪岩	5	51.37	0.64	10.78	4.27	7.07	0.21	9.23	9.89	2.24	2.52	0.20	1.66	0.11	100.19	21	83	0.25
	片麻岩类	4	55.41	0.86	14.42	2.67	6.82	0.13	6.25	5.86	3.19	1.54	0.13	1.01	0.92	99.21	29	67	0.43
	片岩	3	61.26	0.86	12.88	3.12	3.41	0.17	6.52	3.34	2.07	3.31	0.10	2.76		99.80	51	91	0.56
	板岩	2	66.41	1.23	12.55	1.65	2.06	0.32	4.05	6.07	1.67	2.08	0.03	1.84		99.96	38	83	0.46
硅质岩	3	89.50	0.09	4.24	0.86	0.70	0.03	0.68	0.79	0.82	0.89	0.05	2.31		99.99	26	69	0.38	

分析者:主化学成分由李荪蓉分析;Pb、Zn由漆亮分析(ICP-MS).

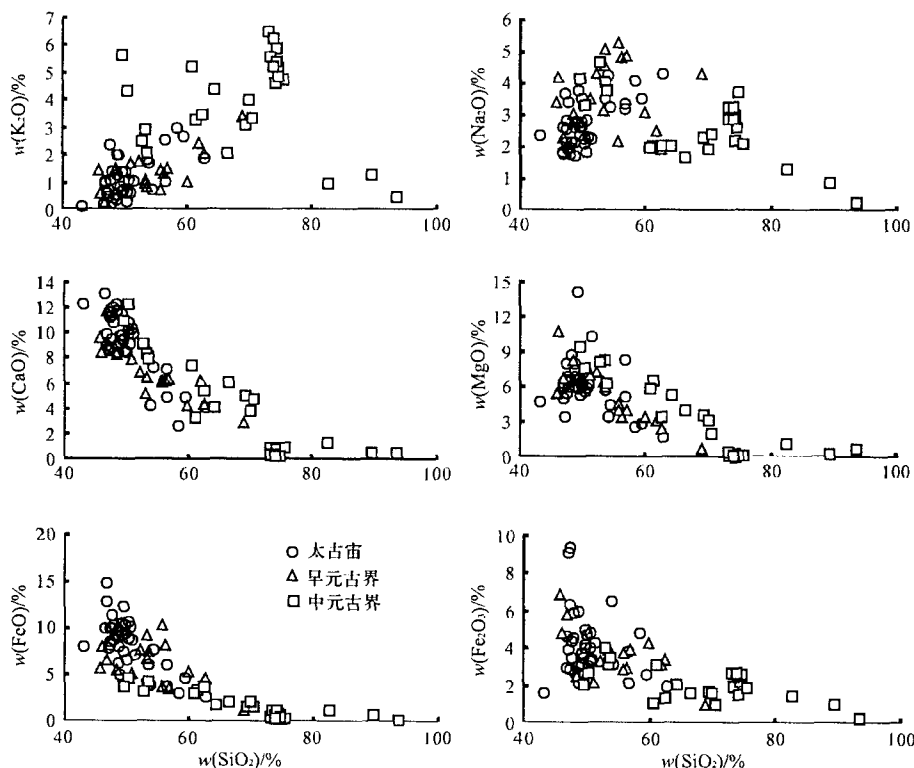


图2 太古代—中元古代岩石化学成分变化关系

Fig. 2. Chemical compositions of rocks from Archaean to Middle Proterozoic.

## 4 铅-锌含量的变化特点

### 4.1 中元古代以前铅含量的变化特点

有关的资料显示,从地核→地幔→下地壳→上地壳,从超基性岩→基性岩→中性岩→酸性岩,铅的含量增高<sup>[26]</sup>。狼山—渣尔泰山地区不同时代岩石的铅含量(表 1)也反映出这种变化特点。太古宙岩石  $w(\text{Pb})$  为  $6 \times 10^{-6} \sim 25 \times 10^{-6}$ , 平均  $12 \times 10^{-6}$ , 基性火山岩平均含铅  $6 \times 10^{-6}$ , 原岩为中-基性火山岩的斜长角闪岩平均含铅  $8 \times 10^{-6}$ , 花岗闪长岩平均含铅  $17 \times 10^{-6}$ 。时代更老的麻粒岩(集宁群)含铅明显低于乌拉山群。迟清华等<sup>[27]</sup>对华北太古宙 2775 个样品统计显示,长英质片麻岩含铅  $15 \times 10^{-6}$ , 变粒岩含铅  $13 \times 10^{-6}$ , 麻粒岩含铅  $9 \times 10^{-6}$ , 斜长角闪岩含铅  $10 \times 10^{-6}$ , 与狼山—渣尔泰山地区太古宙岩石含铅性基本一致。

从表 1 可以看出,早元古界岩石铅含量与太古宙相比,铅含量明显增高。中元古界岩石的铅含量高于早元古界以前的所有岩石。不同岩性岩石铅的平均含量在  $15 \times 10^{-6} \sim 51 \times 10^{-6}$  之间,其中,片岩、钾长花岗岩铅含量最高。产于书记沟组中的基性火山岩含铅最高可达  $40 \times 10^{-6}$ , 平均  $15 \times 10^{-6}$ 。从岩石化学成分与铅含量的关系(图 3)来看,铅含量与  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量呈现同步增长的变化趋势,从太古代到中元古代,岩石的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量不断增高,铅含量也同步增加(图 3a, b)。铅含量与  $\text{Na}_2\text{O}$  含量之间不存在明显的关系,但多少出能看出  $\text{Na}_2\text{O}$  高 Pb 低的关系(图 3c),而与  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  和  $\text{FeO}^*$  之间略有负消长关系(图 3d—f),随着岩石  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{FeO}^*$  含量的降低,铅含量有下降的趋势,这在铅与  $\text{FeO}^*$  之间表现得更突出(图 3f)。

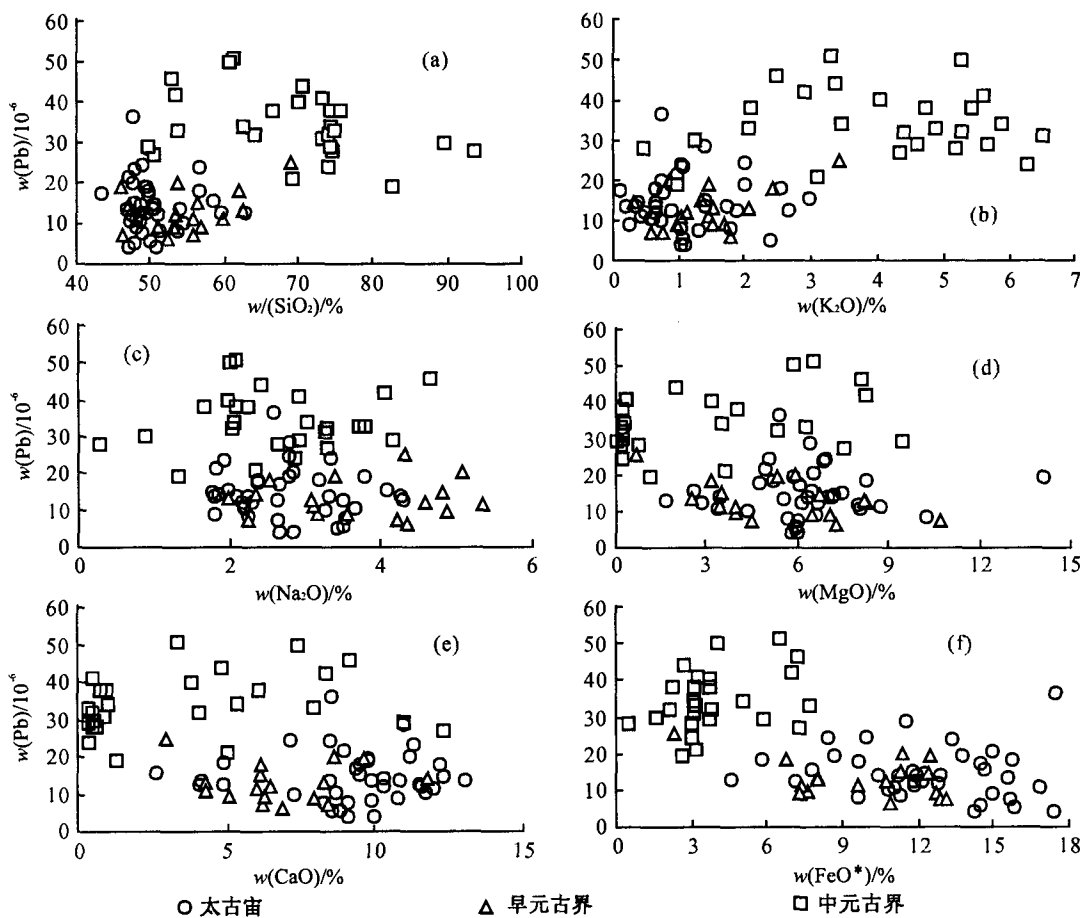


图 3 岩石氧化物成分与铅含量的变化关系

Fig. 3. Variation relationships of chemical composition with Pb contents of rocks.

### 4.2 中元古代以前锌含量的变化特点

中元古代以前岩石的锌含量与铅含量呈现相反的变化趋势(表1)。不管那个时代的岩石,含锌最高的岩石是变质基性火山岩以及由中-基性火山岩变质而成的斜长角闪岩和片岩、片麻岩等,锌含量一般都在  $100 \times 10^{-6}$  以上,含锌最低的岩石为酸性或其成分相当于中-酸性的变质岩,锌含量一般低于  $100 \times 10^{-6}$ 。从表1可以看出,太古代岩石含锌  $89 \times 10^{-6} \sim 137 \times 10^{-6}$ ,早元

古代岩石为  $63 \times 10^{-6} \sim 122 \times 10^{-6}$ ,中元古代岩石为  $58 \times 10^{-6} \sim 92 \times 10^{-6}$ ,呈现逐渐降低的总变化趋势。

图4表示锌与主要氧化物成分之间的关系。可以看出,与铅不同,锌与岩石中  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  的含量之间略呈具负消长及随时间变新而降低的变化关系(图4a,b)。锌与  $\text{Na}_2\text{O}$  之间不存在明显的相关性(图4c),而随着岩石  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  和  $\text{FeO}^*$  含量的增高,锌含量也随之增加,其间存在较明显的正相关性(图4d-f)。

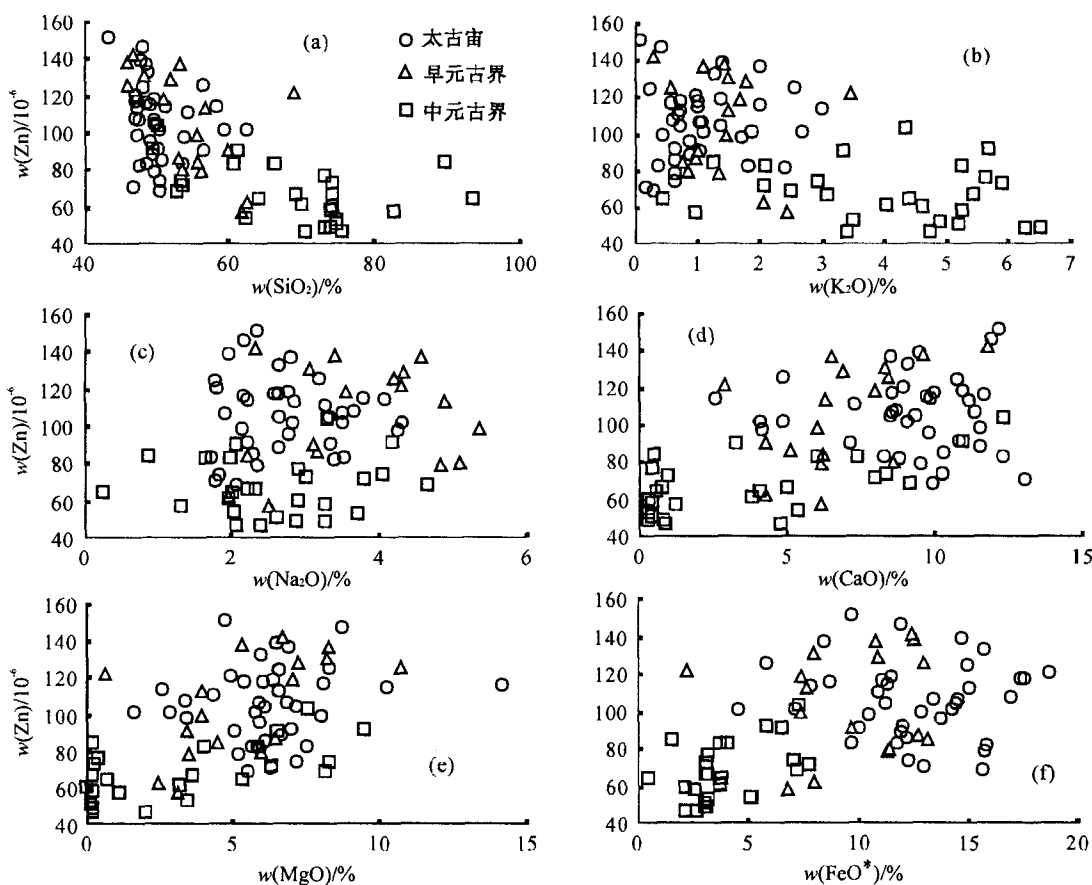


图4 岩石氧化物成分与锌含量的变化关系

Fig.4. Variation relationships of chemical composition with Zn contents of rocks.

### 5 铅锌变化与铅锌成矿的同步性

从太古代到中元古代,伴随着地壳岩石  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量的升高以及  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  含量的降低,表现在铅锌含量上的变化特点,总的趋势是,太古代不同类型的岩石贫铅富锌,随着时代的变新,铅含量逐渐升高,而锌含量有所降低。

从统计结果来看,不同类型岩石的铅含量从

早到晚呈上升趋势,锌含量呈下降趋势(图5)。太古代时,二者无论在哪一种岩石中,都呈分异状态,岩石中锌含量大于铅含量10倍以上;到了中元古代,情形发生了很大的变化,岩石  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  比率明显变小,有些岩石铅含量与锌含量已达到非常接近的程度。这一变化特点与早元古代及其以前只形成锌矿床,而中元古代开始铅大量成矿并且铅-锌常常共生在一起的现象完全吻合。

从图 5 还可以看出,不论哪种类型的岩石,也不论是哪个时代,岩石中锌含量总是大于铅含量。实际上,已知的绝大多数铅锌矿床,都是锌富于铅,  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  比值一般都在 4 以上,有些与基性岩及太古代斜长角闪岩有关的矿床中,甚至没有铅,如沱沟、荒沟山等。而有些与中酸性岩浆岩或片麻岩有关的矿床,  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  比值较小,甚至出现铅与锌接近或以铅为主的矿床,如柴河、西榆皮等矿床。这与图 5 中中元古代时这两种岩石铅锌含量较为接近的现象是一致的,这也说明中元古代铅的爆发性成矿与铅-锌的演化具有密切关系。

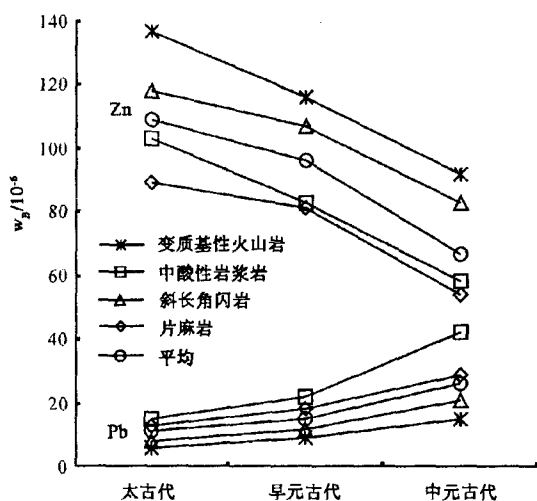


图 5 太古代至中元古代不同类型岩石 Pb-Zn 含量变化特点

Fig. 5. Variation of Pb and Zn contents of different types of rocks from Archaean to Middle Proterozoic.

中国北方部分产于中元古界及其以前地层中的铅锌矿床矿石的  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  比值与基底岩石的  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  如表 2 和图 6 所示。除狼山—渣尔泰山地区的 SEDEX 矿床和河北高板河矿床外,山西西榆皮、辽宁柴河、关门山、沱沟和荒沟山都是由早元古界或太古宙提供成矿物质的热液矿床<sup>[28]</sup>。

很明显,矿石及矿源岩石  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  比值呈现很好的线性分布,矿源岩石中  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  比值高者,形成的矿石 Zn 含量远大于 Pb,反之亦然。这说明矿石中的铅和锌比例很好地继承了矿源岩石中铅锌的比例关系,同时说明,铅和锌是同时并且同步地从矿源岩中萃取、迁移、沉淀成矿

的。这就可以解释地球早期岩石及基性火山作用产物中锌含量远大于铅含量的情况下,只形成锌(铜)矿床,只有在经过长期的演化和分异,铅积聚到足够量的情况下,铅和锌才一起形成共生矿床。岩石中铅的积聚除与地球本身的演化有关外,铀、钍衰变产生的铅也是重要来源之一。由于作为中元古界地层基底的早元古界和太古宙地层中 Zn/Pb 比值不是固定不变的,因此常形成不同 Zn/Pb 比值的铅锌矿床。

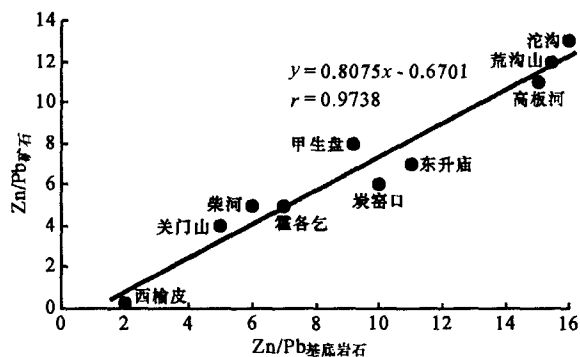


图 6 中国北方部分产于中元古界地层中的铅锌矿床矿石与基底岩石  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  的变化关系

Fig. 6. Relationships of Zn/Pb ratios in ores and basement rocks of the selected Pb-Zn deposits in the Proterozoic strata of North China.

表 2 中国北方部分产于中元古界地层中的铅锌矿床矿石与基底岩石的  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  比值

Table 2. Zn/Pb ratios in the ores and basement rocks of some Pb-Zn deposits in the Proterozoic strata of North China

矿床	Zn/Pb	矿源 Zn/Pb	资料来源
东升庙	7	11	
炭窑口	61	0	
甲生盘	8	9.2	
霍各乞	5	7	
高板河	11	15	本文
柴河	5	6	
关门山	4	5	
沱沟	13	16	
荒沟山	12	15.4	
西榆皮	0.3	2	

## 6 结 论

(1) 从太古代至中元古代,地壳岩石成分最突出的变化是  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量的增高。相应地,

FeO、MgO、CaO 和 Na<sub>2</sub>O 含量不同程度地降低。

(2)从太古代到中元古代,地壳岩石铅含量与 SiO<sub>2</sub>和 K<sub>2</sub>O 含量同步增高,而锌含量与 FeO、MgO、CaO 和 Na<sub>2</sub>O 含量同步降低,这种变化与中元古代铅的爆发性成矿及大量铅锌共生矿床的形成也是同步的。铅锌的这种演化造就了中元古代开始大

规模共生成矿的物质基础。

(3)在中国北方,SEDEX 型矿床和部分成矿物质来自中元古代及其以前地层的矿床,矿石与矿源岩石的  $w(\text{Zn})/w(\text{Pb})$  存在相同或相似的可比性,表明矿石继承了矿源岩的铅锌比例关系,Pb-Zn 同步和同时从矿源岩中淬取、迁移和沉淀成矿。

### 参 考 文 献:

- [1] 朱上庆. 中国层控铜铅矿床的时间及空间分布特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1984, (4): 1-10.
- [2] 张乾. 泥岩-细碎屑岩型铅锌矿床的主要地质地球化学特征及时控因素[J]. 地球化学, 1990, (3): 230-238.
- [3] Blanchard R, Hall G. Mount Isa ore deposition[J]. *Econ Geol*, 1942, 32: 1042-1057.
- [4] Gustafson L B, Williams N. Sediment-hosted stratiform deposits of copper, lead and zinc[J]. *Econ Geol*, 1981, 75: 139-178.
- [5] Perkins W G. Mount Isa silica dolomite and copper orebodies: The result of a syntectonic hydrothermal alteration system[J]. *Econ Geol*, 1984, 79: 601-637.
- [6] Spry P G. A sulphur isotope study of the Broken Hill deposit, New South Wales, Australia[J]. *Mineral Deposita*, 1987, 22: 109-115.
- [7] McGoldrick P J, Keays R R. Mount Isa copper and lead-zinc-silver ores-coincidence or cogenesis? [J]. *Econ Geol*, 1989, 85: 641-650.
- [8] Slack J F, Palmer M R, Stevens B P J, Barnes R G. Origin and significance of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill district, Australia[J]. *Econ Geol*, 1993, 88: 505-541.
- [9] Valenta R K. Syntectonic discordant copper mineralization in the Hilton mine, Mount Isa[J]. *Econ Geol*, 1994, 89: 1031-1052.
- [10] Xu G. Structural geology of the Dugald River Zn-Pb-Ag deposit, Mount Isa Inlier, Australia[J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, 11: 339-361.
- [11] Chandler F W, Zieg G A. Was the depositional environment of the Sullivan Zn-Pb deposit in British Columbia marine or lacustrine and how saline was it? A summary of the data[J]. *Current Research, Geol Survey Canada Paper*, 1994, 94(1A): 123-130.
- [12] Cook F A, Van der Velden A J. Three-dimensional crustal structure of the Purcell anticlinorium in the Cordillera of southwestern[J]. *Canada Geol Soc Am Bull*, 1995, 107: 642-664.
- [13] Perkins W G. Mount Isa lead-zinc orebodies: Replacement lodes in a zoned syndeformational copper-lead-zinc system? [J]. *Ore Geology Reviews*, 1997, 12: 61-110.
- [14] 赵振华, 涂光炽, 等. 中国超大型矿床(II)[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 97-153.
- [15] 王思源, 杨海明. 狼山造山带喷溢成矿研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993: 5-31.
- [16] 杨海明, 苏尚国. 内蒙古狼山北侧中元古代变基性岩特征及成矿意义[J]. *矿床地质*, 1992, 11(2): 142-153.
- [17] 彭润民, 王鉴津, 隋竹慧, 等. 内蒙古东升庙矿床火山作用新证据的发现及其意义[J]. *化工矿产地质*, 1996, 18(3): 179-185.
- [18] 王辑, 李双庆. 狼山—白云鄂博裂谷系及其成矿特征[J]. 北京: 地质出版社, 1987: 1-58.
- [19] 孙宝忠, 徐贵忠, 边千韬. 内蒙狼山霍各乞矿床条带状含铜石英岩成因的讨论[J]. *岩石学报*, 1997, 13(2): 226-232.
- [20] 彭润民, 翟裕生, 王志刚. 内蒙古东升庙、甲生盘中无古代 SEDEX 矿床同生断裂活动及其控矿特征[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2000, 25(4): 404-409.
- [21] 李兆龙, 许文斗, 庞文忠. 内蒙古中部层控多金属矿床硫、碳和氧同位素组成及矿床成因[J]. *地球化学*, 1986, (1): 13-23.
- [22] 缪远兴, 冉崇英. 内蒙古东升庙铅锌硫矿床海底喷流沉积成矿作用地质地球化学特征[J]. *地球化学*, 1992, (4): 375-382.
- [23] 金章东, 李英. 狼山热水沉积型铜多金属矿床的稀土与铅同位素地球化学特征[J]. *西安工程学院学报*, 1998, 20(3): 19-23.
- [24] 内蒙古地质矿产局. 内蒙古区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 7-71.
- [25] 李兆龙. 内蒙古狼山霍各乞多金属硫化物层控矿床构造环境[J]. *地质论评*, 1982, 28(3): 201-209.
- [26] Wedepohl K H. *Handbook of Geochemistry*[Z]. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1974, II(4): 82-C-1-82-O-1.
- [27] 迟清华, 酆明才, 戚长谋. 华北地台太古宙主要变质岩的平均化学组成[J]. *长春地质学院学报*, 1997, 27(2): 126-134.
- [28] 涂光炽, 等. 中国层控矿床地球化学(第一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 13-69.



## THE EVOLUTIONS OF LEAD AND ZINC IN THE ROCKS OF THE EARLY EARTH'S HISTORY

—ORE-FORMING MATERIAL SOURCE OF THE PROTEROZOIC SEDEX TYPE Pb-Zn DEPOSITS  
FROM THE LANGSHAN-ZHAERTAISHAN DISTRICT IN INNER MONGOLIA, CHINA.

ZHU Xiao-qing<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, HE Yu-liang<sup>1, 2</sup>, ZHU Chao-hui<sup>1, 2</sup>

(1. Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** As exemplified by the Proterozoic SEDEX-type Pb-Zn mineralizing zone of the Langshan-Zhaertaishan district in Inner Mongolia, this paper presents the Pb and Zn contents of the crustal rocks from Archaean to Middle Proterozoic in age and studies their variation and relationships with mineralization. The results show that the SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O and Pb contents of the rocks increased, and the FeO, MgO, CaO, and zinc contents decreased gradually from early to late. Zn/Pb ratios in the Archaean rocks are larger than eight and those in the Middle Proterozoic rocks are 2–4. Zn/Pb ratios in ores from some SEDEX type Pb-Zn deposits in North China are consistent with those of the basement rocks of every deposit. The temporal variations of Pb and Zn are synchronous with the extensive mineralization of Pb and the formation of large-scale associated Pb-Zn deposits in the Middle Proterozoic. This indicates that the evolution of Pb and Zn in the basement rocks from early to late provided the ore-forming material for mineralization of the SEDEX-type Pb-Zn deposits in the Langshan-Zhaertaishan district.

**Key words:** early stage of the Earth's history; evolution of Pb and Zn; mineralization of Pb and Zn; Middle Proterozoic; Langshan-Zhaertaishan district, Inner Mongolia